



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



CTCN
CLIMATE TECHNOLOGY CENTRE & NETWORK

**METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAUDALES
ECOLÓGICOS Y PLANES DE MANEJO DE CUENCAS EN PARAGUAY.**

APLICACIÓN A LA CUENCA PILOTO DEL RÍO TEBICUARY.

3.3. INFORME FINAL - CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE NIVELES Y CAUDALES EN LA CUENCA DEL RÍO TEBICUARY - ESTACIÓN DE ITURBE (RÍO TEBICUARY- MÍ)

**INFORME FINAL
CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE
NIVELES Y CAUDALES EN LA CUENCA DEL RÍO
TEBICUARY**

ESTACIÓN DE ITURBE (RÍO TEBICUARY-MÍ)

Departamento de Guairá

Objeto del Trabajo

Colectar datos de caudales y niveles en la estación de la ciudad de Iturbe ubicada sobre el río Tebicuary-mí, en campañas mensuales durante un periodo de tres meses (Julio, Agosto y Setiembre).

EQUIPO DE TRABAJO

Responsable: Dr. Ing. Andrés Wehrle

Ing. Francisco Bock

Octubre de 2018

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN REFERENTE A LA ESTACIÓN	5
3	INSTALACIÓN DE ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA Y LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	7
3.1	INSTALACIÓN DEL LIMNÍMETRO ELECTRÓNICO (WATER LEVEL LOGGER)	7
3.2	REFERENCIACIÓN DEL CERO DE LA REGLA LIMNIMÉTRICA A UN PUNTO FIJO DE REFERENCIA	7
3.3	LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	8
3.4	DATOS DE NIVEL OBTENIDOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN	10
4	RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE CAUDALES PRIMERA CAMPAÑA (06-07-2018)	10
4.1	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA SECCIÓN DEL PUENTE, PRIMERA CAMPAÑA (06-07-2018)	10
4.2	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA SECCIÓN DEL PUENTE, SEGUNDA CAMPAÑA (05 DE SETIEMBRE DE 2018)	11
4.2.1	Medición de caudal en la sección del puente (margen izquierda hasta la jaula)	12
4.2.2	Medición de caudal en la sección del puente (jaula hasta la margen derecha)	13
4.2.3	Resultado general de la medición del 05 de setiembre de 2018	14
4.3	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA SECCIÓN DEL PUENTE, TERCERA CAMPAÑA (30 DE SETIEMBRE DE 2018)	15
4.3.1	Medición de caudal en la sección del puente (margen izquierda hasta la jaula)	15
4.3.2	Medición de caudal en la sección del puente (jaula hasta la margen derecha)	16
4.3.3	Resultado general de la medición del 30 de setiembre de 2018	17
5	DETERMINACIÓN DE CURVA ALTURA CAUDAL RESULTADO GENERAL DE LAS MEDICIONES	17
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
7	ANEXOS	20
7.1	ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS	20
7.2	ANEXO II (DIGITAL): INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA	21
7.3	ANEXO III (DIGITAL):	26

Índice de Tablas

Tabla 1:	Campañas realizadas durante el servicio	4
Tabla 2:	Puntos levantados en el terreno	9
Tabla 3:	Resumen de la medición; Campaña 1; 06-07-2018	11
Tabla 4:	Calculo de caudal entre la cara y el eje de la jaula, para cada transecta (05-09-18)	12
Tabla 5:	Resumen de la medición de caudal entre la margen izquierda y la jaula de la estación de monitoreo (05-09-18)	13
Tabla 6:	Resumen de la medición de caudal entre la jaula de la estación de monitoreo y la margen derecha (05-09-18)	14

Tabla 7: Calculo de caudal entre la cara y el eje de la jaula, para cada transecta (30-09-18)...	15
Tabla 8: Resumen de la medición de caudal entre la margen izquierda y la jaula de la estación de monitoreo (30-09-18).....	16
Tabla 9: Resumen de la medición de caudal entre la jaula de la estación de monitoreo y la margen derecha (30-09-18).....	17
Tabla 10: Resumen general de las mediciones realizadas	17
Tabla 11: Características del equipo ADCP utilizado	20

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Secciones levantadas.	9
Gráfico 2: Niveles en la Estación Iturbe y precipitación en la zona.	10
Gráfico 2: Distribución de velocidades en el puente para 0,33 [m] de nivel (06-07-2018)	11
Gráfico 3: Distribución de velocidades en el puente MI_Jaula para 0,72[m] de nivel (05-09-18)	12
Gráfico 4: Distribución de velocidades en el puente Jaula-MD para 0,72 [m] de nivel (05-09-18)	13
Gráfico 5: Distribución de velocidades en el puente MI_Jaula para 3.67 [m] de nivel (30-09-18)	15
Gráfico 6: Distribución de velocidades en el puente Jaula-MD para 3.67 [m] de nivel (30-09-18)	16
Gráfico 8: Sección de medición de caudales	18
Gráfico 9: Curva Altura Caudal de la estación Iturbe	18

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Captura de la imagen en la web de la DMH-DINAC de los datos de la estación....	5
Ilustración 2: Niveles de la Estación Iturbe del proyecto PMSAS-SEAM	5
Ilustración 3: Ubicación Estaciones meteorológicas y estación de Iturbe dentro de la cuenca el río Tebicuary-mi (rojo)	6
Ilustración 4: Niveles y precipitaciones en la cuenca del río Tebicuary-mi.....	6
Ilustración 5: Montaje del limnómetro electrónico en el tubo existente.	7
Ilustración 6: (A) Nivelación de cero de la regla; (B) Vista general del punto fijo RN; (C) Detalle del RN.....	7
Ilustración 7: Ubicación de las secciones levantadas.....	8

“MEDICIÓN DE CAUDALES EN LA ESTACIÓN DE ITURBE (RÍO TEBICUARY-MÍ)”
INFORME FINAL

1 Introducción

En el presente servicio se han realizado tres campañas de medición de caudales y niveles durante un periodo de tres meses en la estación ubicada en la ciudad de Iturbe sobre el río Tebicuary-mí. Las campañas realizadas en el presente servicio fueron:

Tabla 1: Campañas realizadas durante el servicio.

Campaña	Mes Previsto año: 2018	Fecha de realización
1	Julio	06-07-18
2	Agosto	05-09-18
3	Setiembre	30-09-18

Las mediciones de caudal se realizaron con un equipo “Acoustic Doppler Current Profiler” (ADCP) por sus siglas en inglés o “perfilador de corriente Doppler acústico”, el cual es un instrumento que calcula las componentes de la velocidad del agua en diferentes capas de la columna de la misma, en las 3 direcciones así como también la topografía del fondo y el área de la sección. Para su determinación, se basa en el efecto Doppler, transmitiendo sonidos a una frecuencia fija y escuchando los ecos retornados por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas microscópicas de sedimentos o plancton presentes naturalmente en el agua, que se mueven a una velocidad igual que la misma.

Además se instaló una estación automática para registrar los niveles del río durante el periodo de medición la cual se referenció a la regla ya existente en el sitio. Para esto se colocó un sensor que registra los niveles del agua midiendo la presión absoluta y la temperatura sobre el sensor, donde además otro sensor ubicado fuera del agua mide la presión atmosférica con lo que se obtiene la presión diferencial sobre el sensor y con esta el nivel del agua sobre el mismo.

El presente informe final contiene la síntesis de todos los trabajos realizados en el transcurso del servicio además de la información recopilada referente a la estación hidrométrica y las precipitaciones ocurridas en la cuenca en el periodo de trabajo.

2 Recopilación de información referente a la estación

En el sitio de medición se encuentra una estación automática la cual se encontraba fuera de funcionamiento, según la web de la DMH-DINAC (<http://www.meteorologia.gov.py/nivel/>) el ultimo valor medido fue el día 8 de julio del 2017.

Localidad - Río Tebicuarymi	Fecha	Nivel del Día (Prom)	Variación Diaria (Prom)
Iturbe - Guairá	2017-06-08	2.47 m	↓ -4 cm

Ilustración 1: Captura de la imagen en la web de la DMH-DINAC de los datos de la estación

La estación fue instalada por el Proyecto Modernización del Sector Agua Potable y Saneamiento (PMSAS-SEAM) llevado adelante por la Secretaría del Ambiente (SEAM) y el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) en colaboración con la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH-DINAC). La misma inicio las mediciones en el mes de mayo de 2016. Según se pudo observar en el momento de la instalación de esta estación y otras del citado proyecto los niveles en los ríos se encontraban alto por lo que las mismas se instalaron teniendo en cuenta estos niveles, por lo que la misma quedaba fuera del agua en periodos de caudales bajos. Además se instaló un metro de regla hidrométrica que correspondía al tramo de 1 a 2 metros, es decir no se instaló el primer tramo de regla que va de 0 a 1 m. En anexo se presentan los valores medidos desde el mes de abril del 2016 hasta julio del 2017, fecha en la que se corto el cable de comunicación entre el sensor y el datalogger.

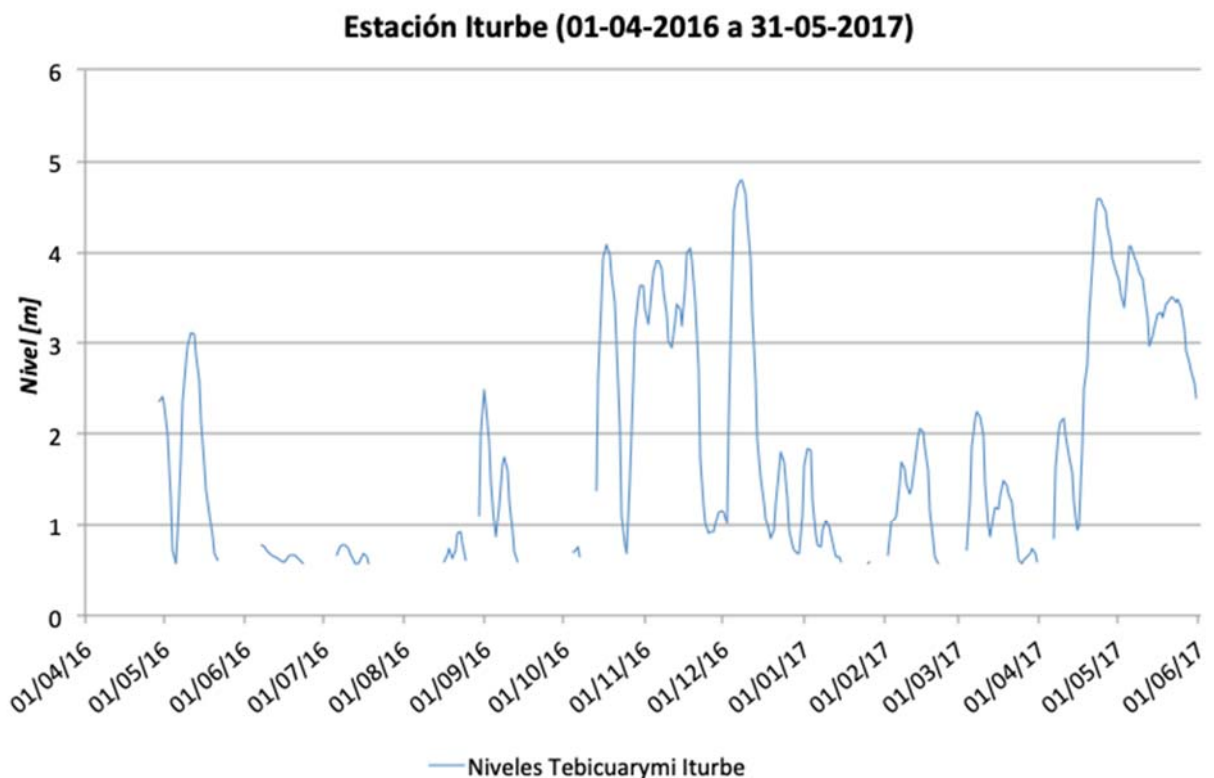


Ilustración 2: Niveles de la Estación Iturbe del proyecto PMSAS-SEAM

Por otro lado se recopiló la información referente a las precipitaciones para el mismo periodo en la cuenca de manera a comparar preliminarmente los datos de precipitación con las niveles del río. Se tienen datos de 5 estaciones meteorológicas cuya ubicación se muestra en el mapa. Para comparar los datos se realizó solamente la media matemática de las estaciones. Se observa que existe una buena correlación entre las precipitaciones y los niveles de río tanto en los datos diarios como en los datos mensuales. En anexo se presentan las planillas con la información recopilada.

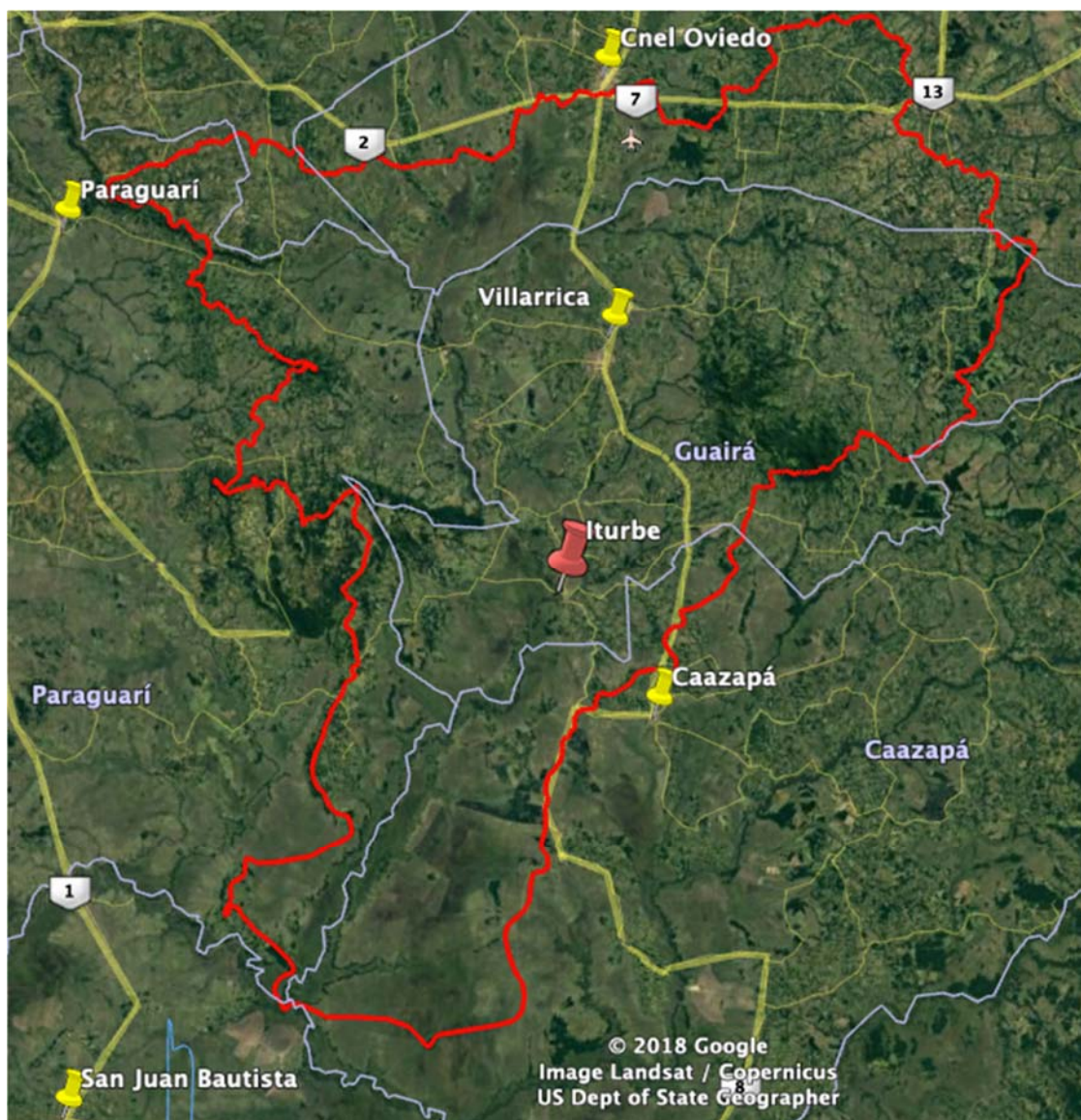


Ilustración 3: Ubicación Estaciones meteorológicas y estación de Iturbe dentro de la cuenca el río Tebicuary-mi (rojo)

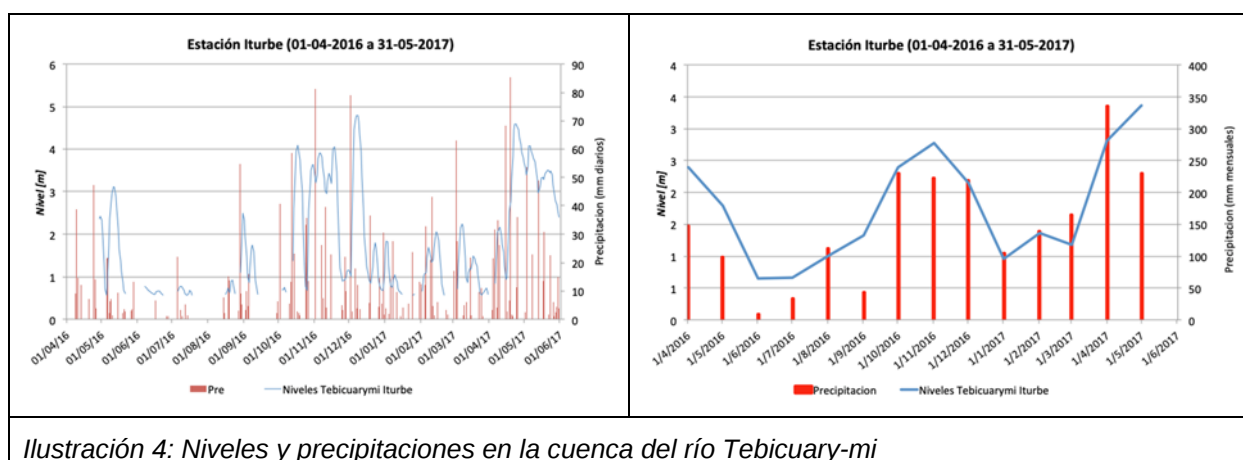


Ilustración 4: Niveles y precipitaciones en la cuenca del río Tebicuary-mi

3 Instalación de estación limnimétrica y levantamiento batimétrico

El día 06 de julio fue ejecutada la primera campaña de campo, en la cual se han realizado las siguientes actividades.

- Instalación del limnómetro electrónico (Water Level Logger).
- Referenciación del cero de la regla limnimétrica a un punto fijo de referencia.
- Levantamiento de una sección aguas arriba del puente.
- Levantamiento de una sección aguas abajo del puente.
- Levantamiento de una sección inmediatamente aguas abajo del puente.
- Medición de caudal en la sección del puente.

3.1 Instalación del limnómetro electrónico (Water Level Logger)

El limnómetro electrónico ha sido configurado para la colecta de datos a intervalos regulares de 10 minutos. El equipo ha sido montado dentro un tubo de acero existente adosado a un pilote de fundación de la pila del puente.



Ilustración 5: Montaje del limnómetro electrónico en el tubo existente.

El nivel del agua asociado al cero de la regla limnimétrica en el lugar fue de 0.330[m].

3.2 Referenciación del cero de la regla limnimétrica a un punto fijo de referencia

En la Ilustración 5 puede observarse que existe adosado a un pilote de la pila del puente un único tramo de regla limnimétrica de las informaciones recopiladas se tiene que dicha regla corresponde al tramo de 1 a 2 metros, es decir que el primer tramo de la regla no se encontraba. El cero del mencionado tramo no se encuentra amarrado a ningún punto fijo del terreno con el cual, en caso de hurto o vandalismo, pudiera ser restituida. En este sentido se ha realizado un trabajo de nivelación topográfica entre el cero de la regla y una referencia de nivel (RN) o punto fijo.



Ilustración 6: (A) Nivelación de cero de la regla; (B) Vista general del punto fijo RN; (C) Detalle del RN

La Ilustración 6 muestra el proceso de nivelación realizado con estación total. El RN escogido consiste en el apoyo de pila de la segunda fila de pilares de la margen izquierda en la pila de aguas abajo (Ilustración 6 (B) y (C)).

El RN se encuentra 3.882[m] por encima del cero de la regla limnimétrica.

3.3 Levantamiento batimétrico

Se han levantado tres secciones batimétricas, la sección 1: aguas arriba del puente, la sección 2: inmediatamente aguas abajo del puente, y la sección 3: aguas abajo del puente.

La metodología adoptada para el levantamiento fue la siguiente:

- Primero: se niveló el pelo de agua (P.A) referido al cero de la regla limnimétrica con estación total en el inicio de la sección (estaca).
- Segundo: las profundidades de la sección fueron levantadas con el ADCP.
- Tercero: se convirtieron las profundidades a nivel con:

$$[(\text{Nivel de P.A}) - (\text{Prof.}) = (\text{Nivel de Fondo})].$$



Ilustración 7: Ubicación de las secciones levantadas.

La sección 1 se encuentra a 376.26 [m] aguas arriba de la sección 2 ubicada inmediatamente aguas abajo del puente. El nivel del P.A en la sección 1 al momento del levantamiento fue de 0,373 [m]. El nivel del P.A en la sección 2 (puente) fue de 0,33 [m], mientras que en la sección 3 de aguas abajo fue de 0,285 [m], distante de la sección 2 454.85[m] conforme se indica en la Ilustración 7.

En Tabla 2 se listan las coordenadas de los puntos levantados en el terreno.

Tabla 2: Puntos levantados en el terreno.

PtID	East	North	Nivel	Codigo
E1	550291,150	7118540,270	4,309	ESTACION
E2	550195,700	7118624,860	8,478	ORIENTACION
DATALOGGER_RN	550285,593	7118568,755	8,478	DATALOGGER_RN
PTE1	550326,443	7118544,239	8,408	PUENTE
PTE2	550330,772	7118551,215	8,403	PUENTE
PTE3	550328,887	7118547,988	8,191	PUENTE
RNPILA	550300,956	7118560,009	3,882	RN_PILA
REGLA 0.0	550276,443	7118576,002	1,000	CERO_REGLA (1 m.)
ESTACA1	550368,121	7118918,106	0,373	AGUAS_ARRIBA
ESTACA3	550239,890	7118098,548	0,285	AGUAS_ABAJO
ESTACA2	550284,888	7118551,166	0,330	PUENTE

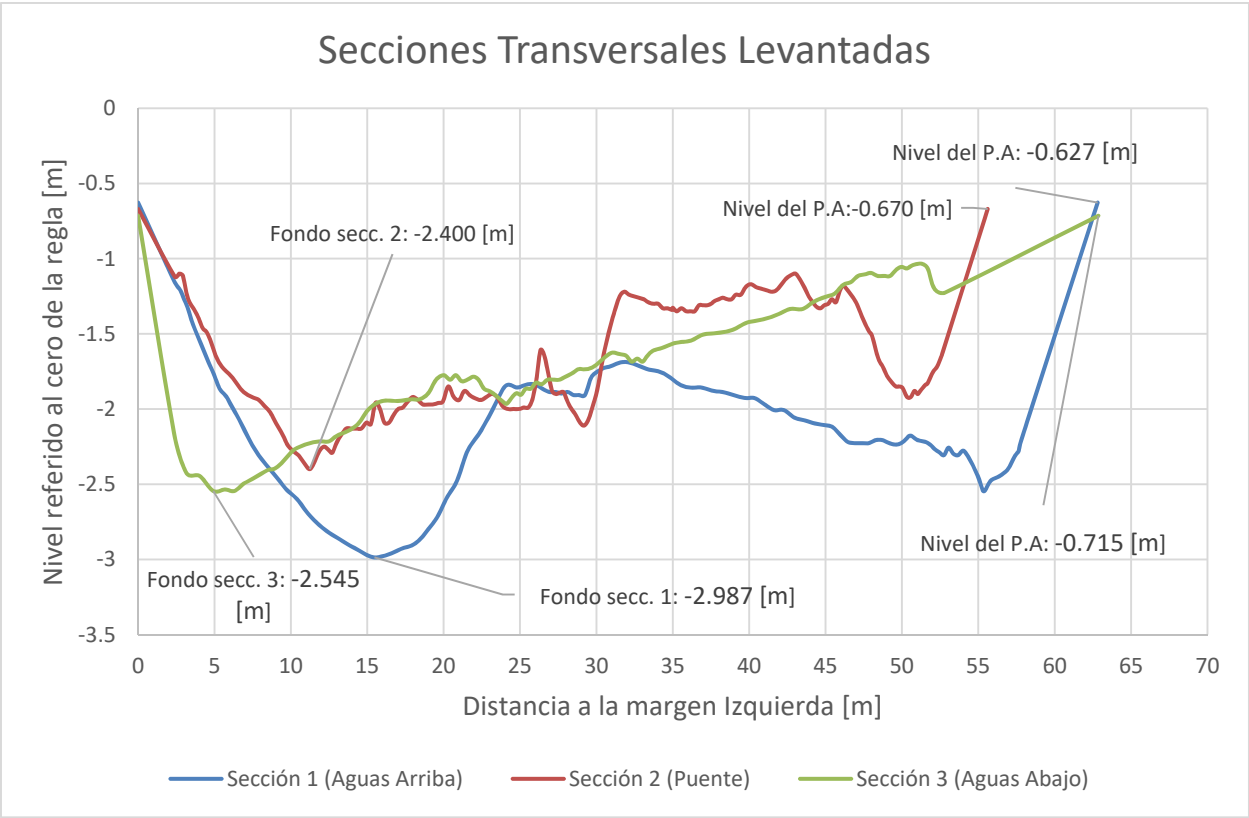


Gráfico 1: Secciones levantadas.

En el Gráfico 1 se presentan las secciones levantadas identificando los puntos de mayor profundidad en cada sección, en los tres casos referidos al cero de la regla así como los niveles del P.A en la margen de cada sección. Es importante notar que la sección 1 de aguas arriba presenta la mayor profundidad.

La pendiente del pelo de agua entre las secciones 1 y 3 al momento de la medición fue de 10.588 [cm/km] o de 0.0001058 [m/m].

El listado de puntos de las secciones levantadas se presenta en los anexos digitales.

3.4 Datos de nivel obtenidos durante las campañas de medición

El equipo registro los datos de nivel desde el 6 de julio hasta el 11 de setiembre, lastimosamente no se registraron datos desde el 11 de setiembre probablemente por algún golpe del equipo ya que luego de un aumento de nivel dejo de registrar los datos. En la segunda quincena de setiembre se dio un periodo de lluvias que mantuvo el nivel del río alto, por encima de los 2 metros en la regla, nivel donde se encontraba el acceso al caño en el cual estaba colocado el equipo, cuando se pudo acceder al mismo al final de las campañas se encontró con el problema del equipo. Se recopiló también datos de precipitación de 2 estaciones meteorológicas de la zona con lo cual se pudo realizar una comparación visual de las precipitaciones y los niveles (Grafico 2). En el anexo digital se presentan los datos medidos cada 1 hora y los promedios diarios.

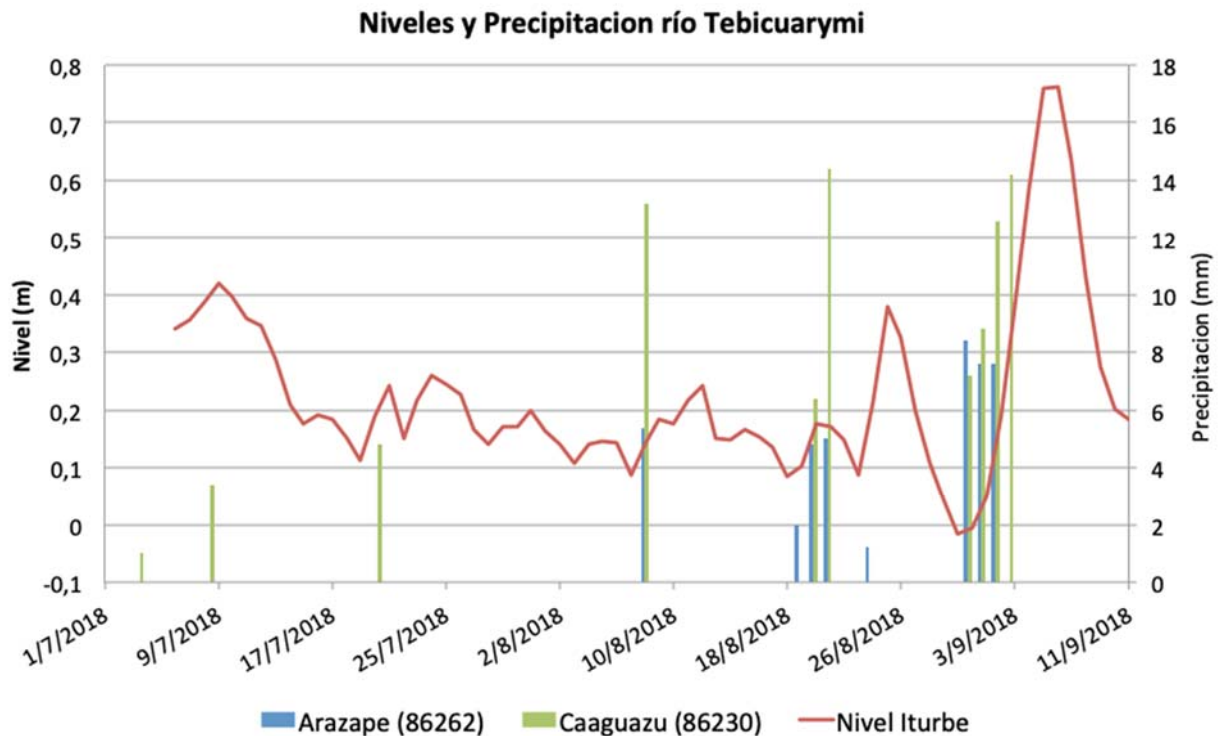


Gráfico 2: Niveles en la Estación Iturbe y precipitación en la zona.

Considerando las mediciones anteriores recopiladas se tiene en ella que el nivel mínimo medido fue de 0,56 m (nivel mínimo medible por el equipo debido al nivel donde fue colocado) y el nivel máximo medido en ese periodo fue de 4,79. En las campañas realizadas en el año 2018 si se pudieron medir los niveles bajos del río obteniéndose valores negativos a finales de agosto de -0,01 m. Considerando ambos periodos tenemos que los niveles del río en la estación Iturbe varían desde -0,01 m hasta 4,79 m.

4 Resultados de las campañas de medición de caudales

4.1 Medición de caudal en la sección del puente, primera campaña (06-07-2018)

El día 06 de julio fue ejecutada la primera campaña de medición de caudales. Se presenta el resumen de la medición del lugar de aforo. Se han realizado 4 transectas cuyos resultados han sido promediados.

En la presente campaña se han realizado 4 transectas dando como caudal promedio 25,95 [m³/s] para un nivel de -0,33 [m].

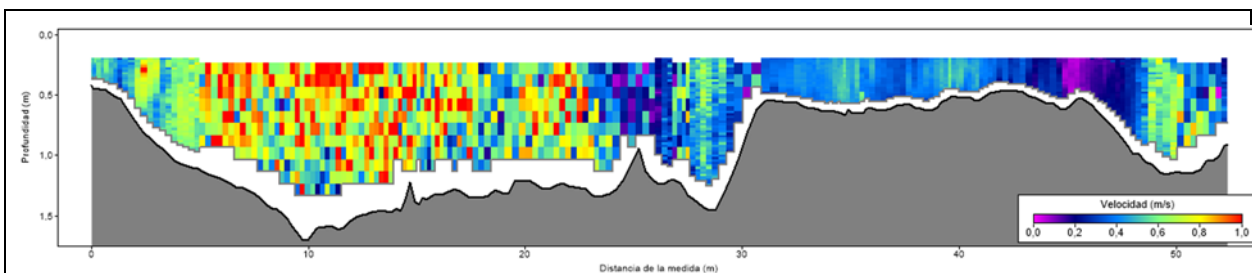


Gráfico 3: Distribución de velocidades en el puente para 0,33 [m] de nivel (06-07-2018)

La velocidad máxima registrada es de 1,433 [m/s] y la velocidad promedio es de 0,506 [m/s]. El Gráfico 3 se presenta el mapa de velocidades de la sección iniciando en la margen izquierda.

Tabla 3: Resumen de la medición; Campaña 1; 06-07-2018.

Resumen de Medida de Caudal

Información de la Estación				Información de la Medida													
Estacion	Iturbe			Equipo	S5-Bock												
Estacion N°	Tebicuary-mi			Plataforma	Catamaran 2 y PK 15-17												
Localización	Lat.: 26° 3.058'S ; Long.: 56° 29.858'O			Medida N°	Campaña Julio 2018												
Información de Sistema		Configuración del Sistema			Unidades												
Tipo de sistema	RS-S5	Profund Transductor (m)	0,13		Distancia	m											
Numero de serie	1873	Distancia de monitoreo (m)	0,00		Velocidad	m/s											
Versión de Firmware	4.02	Salinidad (ppt)	0,0		Area	m2											
Versión de Software	4.0	Declin. magnetica (grados)	-14,8		Caudal	m3/s											
					Temperatura	grados C											
Ajustes del Cálculo de caudal				Resultados del Cálculo de Caudal													
Ref. del Track	Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen izquierdo	Margen pendiente	Ancho (m)	53,472												
Ref. de profundidad	Haz Vertical	Metodo de cálculo del margen derecho	Margen pendiente	Area (m2)	51,317												
Sistema coordinadas	ENU	Ajuste al modelo superior	Ajuste potencia	Velocidad promedio (m/s)	0,506												
		Ajsute al modelo de fondo	Ajuste potencia	Q Total (m3/s)	25,947												
		Lectura inicial de escala (m)	0,00	Profundidad máxima medida	1,728												
		Lectura final de escala (m)	0,00	Velocidad máxima medida	1,433												
Resultados de la Medida																	
Numero de Transecto	Tiempo		Distancia				Velocidad promedio		Caudal							%	
#	Tiempo	Duración	Temp.	Track	DMG	Anchura	Area	Barca	Agua	Izquierda	Derecha	Parte arriba	Medio	Fondo	Total	LCTotal	Medida
1	M 0:09:14	0:04:01	20.2	51.16	48.72	52.719	51.049	0.212	0.510	0.16	0.29	5.67	16.51	3.39	26.025	--	63.4
2	M 0:13:19	0:03:45	20.3	53.30	49.52	53.522	51.013	0.237	0.504	0.15	0.16	5.67	16.37	3.38	25.724	--	63.6
3	M 0:17:11	0:03:18	20.3	51.66	49.74	53.742	52.007	0.261	0.503	0.13	0.19	5.65	16.75	3.46	26.179	--	64.0
4	M 0:21:09	0:03:50	20.3	53.11	49.91	53.905	51.198	0.231	0.505	0.15	0.10	5.68	16.57	3.36	25.858	--	64.1
		Promedio	20.3	52.31	49.47	53.472	51.317	0.235	0.506	0.15	0.18	5.67	16.55	3.40	25.947	0.000	63.8
		Desviación Estándar	0.0	0.92	0.46	0.455	0.405										

Para que esta metodología de medición sea correcta se ha calculado el caudal circulante entre la cara lateral de la jaula y el eje de la misma, para cada transecta, y éste valor calculado ha sido introducido en el software como definido por el usuario, es decir, el software en ese tramo no aproxima el caudal con la formula exponencial.

El resultado de los cálculos del caudal entre la cara lateral de la jaula y el eje de la misma se expone en la Tabla 4.

Tabla 4: Calculo de caudal entre la cara y el eje de la jaula, para cada transecta (05-09-18).

Transecta	(A) Promedio de Profundidad [m]	(B) Promedio de Velocidad promedio [m/s]	(C) Ancho de la Jaula [m]	(D) Área [m ²] $D=0.5 \cdot C \cdot A$	(E) Caudal [m ³ /s] $E=D \cdot B$
T_Jaula-MD_149	1.789	0.747	0.8	0.7157	0.53
T_Jaula-MD_204	1.605	0.813	0.8	0.6420	0.52
T_Jaula-MD_425	1.600	0.924	0.8	0.6400	0.59
T_MI-Jaula_034	1.106	0.634	0.8	0.4425	0.28
T_MI-Jaula_230	1.671	0.821	0.8	0.6684	0.55
T_MI-Jaula_410	1.673	0.895	0.8	0.6693	0.60

4.2.1 Medición de caudal en la sección del puente (margen izquierda hasta la jaula)

Se presenta el resumen de la medición del lugar de aforo. Se han realizado 3 transectas cuyos resultados han sido promediados.

En la presente campaña se han realizado 3 transectas dando como caudal promedio 8.56 [m3/s] para un nivel de -0.72 [m].

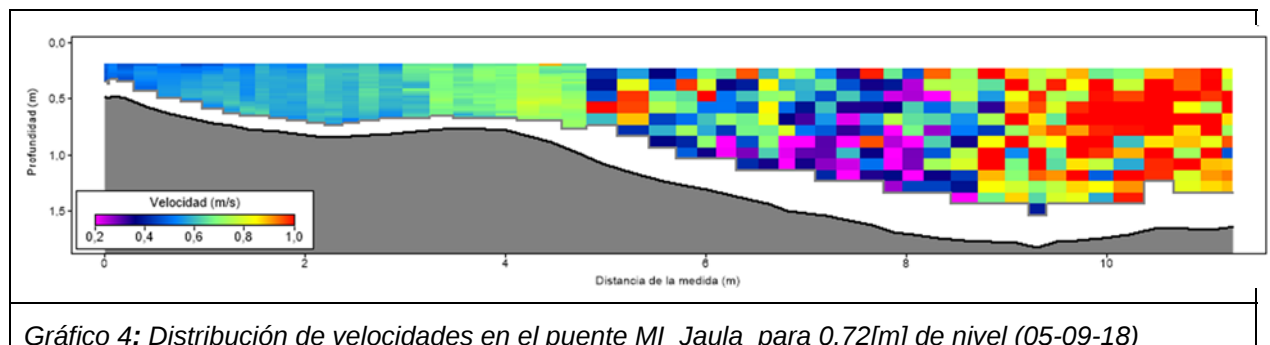


Gráfico 4: Distribución de velocidades en el puente MI_Jaula para 0,72[m] de nivel (05-09-18)

La velocidad máxima registrada es de 1,52 [m/s] y la velocidad promedio es de 0,674[m/s]. El Gráfico 4 se presenta el mapa de velocidades de la sección iniciando en la margen izquierda.

Tabla 5: Resumen de la medición de caudal entre la margen izquierda y la jaula de la estación de monitoreo (05-09-18).

Resumen de Medida de Caudal										Fecha de medida: miércoles, 5 de septiembre de 2018							
Información de la Estacion					Información de la Medida												
Estacion		Iturbe			Equipo		S5-Bock										
Estacion Nº		Tebicuary-mi			Plataforma		Catamaran2										
Localización		Lat.: 26° 3.058'S ; Long.: 56° 29.858'O			Medida Nº		Campaña2										
Información de Sistema			Configuración del Sistema					Unidades									
Tipo de sistema		RS-S5	Profund Transductor (m)		0,13		Distancia		m								
Numero de serie		1873	Distancia de monitoreo (m)		0,00		Velocidad		m/s								
Versión de Firmware		4.10	Salinidad (ppt)		0,0		Area		m2								
Versión de Software		4.1	Declin. magnetica (grados)		-14,8		Caudal		m3/s								
							Temperatura		grados C								
Ajustes del Cálculo de caudal								Resultados del Cálculo de Caudal									
Ref. del Track		Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen izquierdo		Margen pendiente			Ancho (m)		11,883							
Ref. de profundidad		Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen derecho		Introd. manual			Area (m2)		12,695							
Sistema coordinadas		ENU	Ajuste al modelo superior		Ajuste potencia			Velocidad promedio (m/s)		0,674							
			Ajsute al modelo de fondo		Ajuste potencia			Q Total (m3/s)		8,566							
			Lectura inicial de escala (m)		-0,28			Profundidad máxima medida		1,815							
			Lectura final de escala (m)		-0,28			Velocidad máxima medida		1,519							
Resultados de la Medida																	
Numero de Transecto	Tiempo		Distancia			Velocidad promedio		Caudal						%			
#	Tiempo	Duración	Temp.	Track	DMG	Anchura	Area	Barca	Agua	Izquierda	Derecha	Parte arriba	Medio	Fondo	Total	ICTotal	Medida
1 M	13:50:34	0:01:47	19,5	11,84	10,58	11,978	12,470	0,111	0,640	0,08	0,28	1,58	4,83	1,22	7,985	--	60,5
2 M	13:52:30	0:01:20	19,6	11,78	10,11	11,514	12,600	0,147	0,687	0,07	0,55	1,59	5,25	1,19	8,651	--	60,7
3 M	13:54:20	0:01:20	19,8	11,56	10,76	12,155	13,014	0,144	0,696	0,08	0,60	1,68	5,37	1,			

Tabla 6: Resumen de la medición de caudal entre la jaula de la estación de monitoreo y la margen derecha (05-09-18).

Resumen de Medida de Caudal										Fecha de medida: miércoles, 5 de septiembre de 2018																			
Información de la Estación										Información de la Medida																			
Estación					Iturbe					Equipo					SS-Bock														
Estación N°					Tebicuary-mi					Plataforma					Catamaran2														
Localización					Lat: 26° 3.058'S ; Long.: 56° 29.858'O					Medida N°					Campaña2														
Información de Sistema					Configuración del Sistema					Unidades																			
Tipo de sistema					RS-S5					Profund Transductor (m)					0,13					Distancia					m				
Número de serie					1873					Distancia de monitoreo (m)					0,00					Velocidad					m/s				
Versión de Firmware					4.10					Salinidad (ppt)					0,0					Area					m2				
Versión de Software					4.1					Declin. magnetica (grados)					-14,8					Caudal					m3/s				
																				Temperatura					grados C				
Ajustes del Cálculo de caudal										Resultados del Cálculo de Caudal																			
Ref. del Track					Bottom-Track					Metodo de cálculo del margen izquierdo					Introd. manual					Ancho (m)					55,940				
Ref. de profundidad					Bottom-Track					Metodo de cálculo del margen derecho					Margen pendiente														

4.3 Medición de caudal en la sección del puente, tercera campaña (30 de setiembre de 2018)

Con la misma metodología empleada en fecha 05 de setiembre, en la presente campaña se midió el caudal en dos etapas, de la margen izquierda hasta la jaula de la estación hidrométrica y desde la misma, hasta la margen derecha.

El resultado de los cálculos del caudal entre la cara lateral de la jaula y el eje de la misma se expone en la Tabla 7.

Tabla 7: Calculo de caudal entre la cara y el eje de la jaula, para cada transecta (30-09-18).

Transecta	(A) Promedio de Profundidad [m]	(B) Promedio de Velocidad promedio [m/s]	(C) Ancho de la Jaula [m]	(D) Área [m²] $D=0.5*C*A$	(E) Caudal [m³/s] $E=D*B$
T_Jaula-MD_008	4.669	0.992	0.80	1.8676	1.85
T_Jaula-MD_441	4.644	1.074	0.80	1.8574	1.99
T_Jaula-MD_532	4.649	1.044	0.80	1.8597	1.94
T_Jaula-MD_801	4.602	1.043	0.80	1.8408	1.92
T_MI-Jaula_529	4.747	1.068	0.80	1.8989	2.03
T_MI-Jaula_743	4.705	1.064	0.80	1.8820	2.00
T_MI-Jaula_912	4.743	0.990	0.80	1.8971	1.88

4.3.1 Medición de caudal en la sección del puente (margen izquierda hasta la jaula)

Se presenta el resumen de la medición del lugar de aforo. Se han realizado 3 transectas cuyos resultados han sido promediados.

En la presente campaña se han realizado 3 transectas dando como caudal promedio 30.573 [m³/s] para un nivel de 3.67 [m].

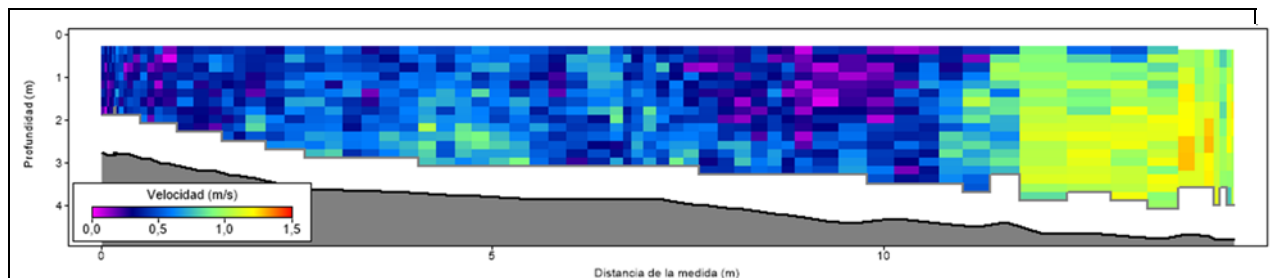


Gráfico 6: Distribución de velocidades en el puente MI_Jaula para 3.67 [m] de nivel (30-09-18)

La velocidad máxima registrada es de 1.405 [m/s] y la velocidad promedio es de 0.553 [m/s]. El Gráfico 6 presenta el mapa de velocidades de la sección iniciando en la margen izquierda.

Tabla 8: Resumen de la medición de caudal entre la margen izquierda y la jaula de la estación de monitoreo (30-09-18).

Resumen de Medida de Caudal										Fecha de medida: domingo, 30 de septiembre de 2018							
Información de la Estacion					Información de la Medida												
Estacion		Iturbe			Equipo		SS-Bock										
Estacion N°		Tebicuary-mi			Plataforma		Catamaran2										
Localización		Lat.: 26° 3.058'S ; Long.: 56° 29.858'O			Medida N°		Campaña3										
Información de Sistema			Configuración del Sistema				Unidades										
Tipo de sistema		R5-S5	Profund Transductor (m)		0,13		Distancia		m								
Numero de serie		1873	Distancia de monitoreo (m)		0,00		Velocidad		m/s								
Versión de Firmware		4.10	Salinidad (ppt)		0,0		Area		m2								
Versión de Software		4.1	Declin. magnetica (grados)		-14,8		Caudal		m3/s								
							Temperatura		grados C								
Ajustes del Cálculo de caudal						Resultados del Cálculo de Caudal											
Ref. del Track		Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen izquierdo		Margen pendiente	Ancho (m)		18,297									
Ref. de profundidad		Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen derecho		Introd. manual	Area (m2)		55,458									
Sistema coordinadas		ENU	Ajuste al modelo superior		Ajuste potencia	Velocidad promedio (m/s)		0,553									
			Ajsute al modelo de fondo		Ajuste potencia	Q Total (m3/s)		30,573									
			Lectura inicial de escala (m)		2,67	Profundidad máxima medida		4,836									
			Lectura final de escala (m)		2,67	Velocidad máxima medida		1,405									
Resultados de la Medida																	
Numero de Transecto	Tiempo		Distancia			Velocidad promedio		Caudal						%			
#	Tiempo	Duración	Temp.	Track	DMG	Anchura	Area	Barca	Agua	Izquierda	Derecha	Parte arriba	Medio	Fondo	Total	LCTotal	Medida
1 M	13:35:29	0:03:20	24,4	17,96	13,21	18,612	51,256	0,090	0,604	1,43	2,03	2,46	20,26	4,74	30,948	—	65,5
2 M	13:39:12	0:02:02	24,4	16,04	12,66	18,055	56,935	0,132	0,549	1,29	1,88	2,27	21,49	4,34	31,280	—	68,7
3 M	13:47:43	0:01:29	24,4	16,02	12,82	18,223	58,182	0,180	0,507	1,0							

Tabla 9: Resumen de la medición de caudal entre la jaula de la estación de monitoreo y la margen derecha (30-09-18).

Resumen de Medida de Caudal										Fecha de medida: domingo, 30 de septiembre de 2018									
Información de la Estacion					Información de la Medida														
Estacion		Iturbe			Equipo		S5-Bock												
Estacion N°		Tebicuary-mi			Plataforma		Catamaran2												
Localización		Lat.: 26° 3.058'S ; Long.: 56° 29.858'O			Medida N°		Campaña3												
Información de Sistema				Configuracion del Sistema						Unidades									
Tipo de sistema		RS-S5		Profund Transductor (m)		0,13				Distancia		m							
Numero de serie		1873		Distancia de monitoreo (m)		0,00				Velocidad		m/s							
Versión de Firmware		4.10		Salinidad (ppt)		0,0				Area		m2							
Versión de Software		4.1		Declin. magnetica (grados)		-14,8				Caudal		m3/s							
										Temperatura		grados C							
Ajustes del Cálculo de caudal										Resultados del Cálculo de Caudal									
Ref. del Track		Bottom-Track		Metodo de cálculo del margen izquierdo		Introd. manual				Ancho (m)		93,388							
Ref. de profundidad		Bottom-Track		Metodo de cálculo del margen derecho		Margen pendiente				Area (m2)		296,637							
Sistema coordinadas		ENU		Ajuste al modelo superior		Ajuste potencia				Velocidad promedio (m/s)		0,747							

Fecha	Nivel [m]	Caudal [m3/s]	Área [m2]	Vel, Prom, [m/s]
6/7/2018	0,33	25,947	51,32	0,506
5/9/2018	0,716	45,59	75,77	0,602
30/9/2018	3,667	252,281	352,10	0,717
25/4/2017	4,55	359,65	483,22	0,74

Se graficaron en base a la sección obtenida en la medición de caudal con el nivel de 4,55 metros las secciones referenciales para los otros niveles de caudal medidos en esta campaña. Se observa que no existe un cambio abrupto de sección hasta los 4 metros donde si luego aparece un pequeño valle de inundación en la margen izquierda.

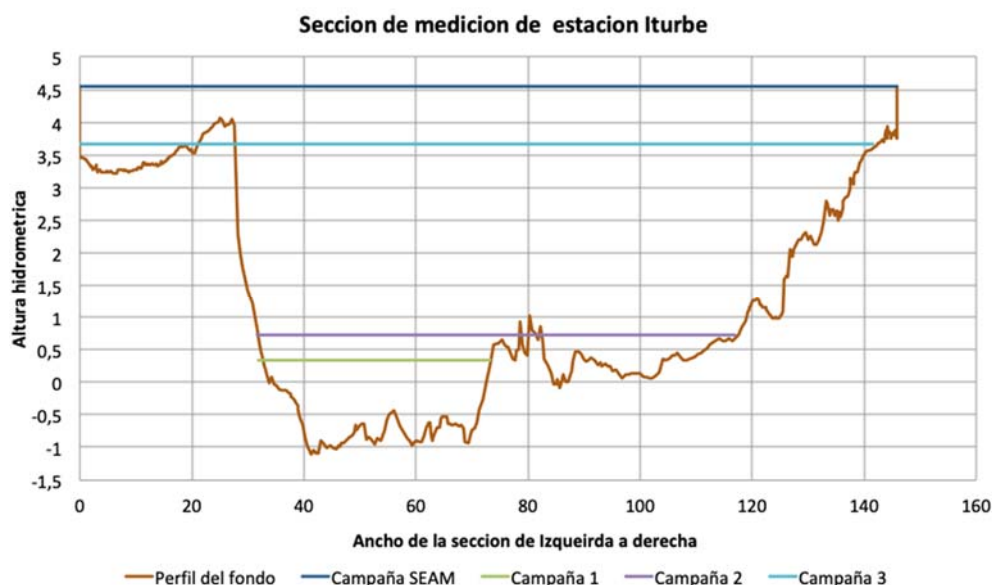


Gráfico 8: Sección de medición de caudales

Graficando los puntos con los valores de nivel en el eje de abscisas y los caudales en el de ordenadas y determinando la curva de tendencia, se observa en la grafica que se obtiene para los puntos una curva polinómica de segundo orden con un $R^2=0,996$. En el grafico 8 se observa que se deben realizar mediciones para mejorar la curva en el tramo comprendido entre los 1 a 3,5 metros donde considerando el grafico 8 se observa que no existe cambios abruptos en la sección, por lo que la primera aproximación de la curva realizada con las mediciones actuales puede considerarse valida.

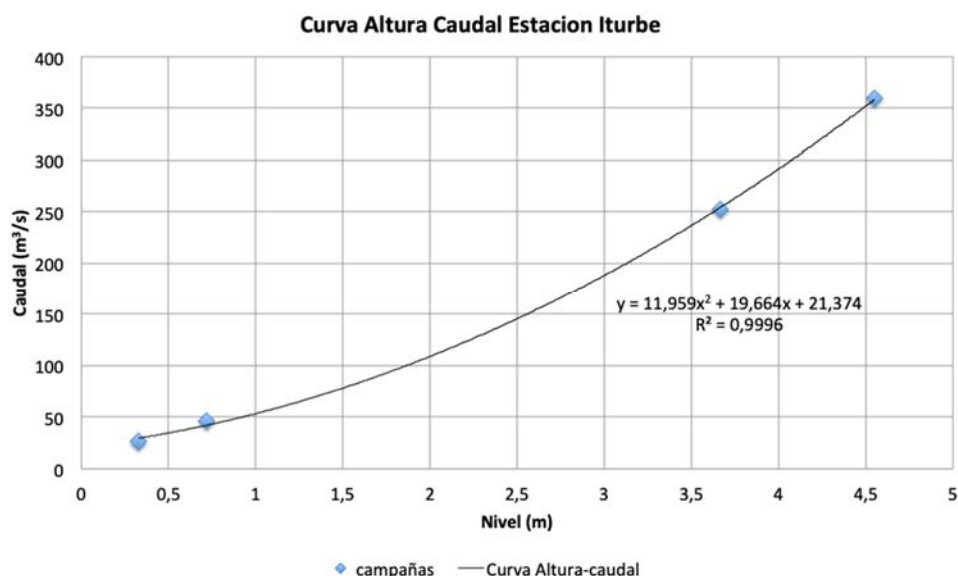


Gráfico 9: Curva Altura Caudal de la estación Iturbe

Finalmente la curva que relaciona las alturas con los caudales obtenidas es una curva polinómica de segundo orden la cual tiene una validez entre las alturas 0,30 a 4,6 metros, siendo al misma

$$Q=11,96h^2+19,66h+21,37$$

Con la altura (h) en metros y el caudal (Q) en m³/s.

6 Conclusiones y recomendaciones

Se cumplió con el objetivo de realizar 3 mediciones de caudales en un periodo de 3 meses donde se obtuvieron además los niveles diarios en la estación Iturbe. A partir de las mediciones de caudal realizadas y otra medición recopilada por la SEAM se logró construir una curva altura caudal válida hasta los 4,6 metros.

Con la información de nivel obtenida en este trabajo y la recopilada se tienen datos de unos 15 meses con los cuales utilizando la curva altura caudal se puede obtener la serie de caudales del río Tebicuary-mi en la Estación Iturbe y con ellos verificar los valores obtenidos con los modelos matemáticos.

Se recomienda realizar otras campañas de medición de caudales de manera a verificar la curva en el tramo donde no se cuentan con mediciones (1-3,5 m)

7 Anexos

7.1 Anexo I: Características de lo equipos

- **ADCP Sontek**

Como se ha mencionado, se utilizó un equipo ADCP de la marca Sontek, modelo S5 del cual se presentan sus características principales.

Tabla 11: Características del equipo ADCP utilizado

Especificación	S5:
Rango de perfiles - Distancia	0,06 a 5 metros
Rango de perfiles ¹ - Velocity	$\pm 20 \text{ m / s}$
Velocidad ¹ - Precisión	$\pm 0,25\%$ de la velocidad medida
	$\pm 0,2 \text{ cm / s}$
Velocidad - Resolución	0.001 m / s
Número de células	Hasta 128
Tamaño de la célula	0,02 a 0,5 M
Configuración del transductor	Cinco (5) Transductores
	4-haz de 3,0 MHz
	Janus 25 ° de ángulo inclinado
	Ecosonda haz vertical de 1,0 MHz
Rango de profundidad	0,20 a 15 m
Profundidad - Precisión	1%
Profundidad - Resolución	0,001 m
Rango de medición de descarga - Bottom-Track	0,3 a 5 metros
Rango de medición de descarga - RTK GPS	0,3 a 15 m
Medición de descarga - Cálculos	Interno

- **Características de la estación automática HOBO U20**

Presión y nivel de agua

Rango de operaciones 0-9 metros

Precisión : Típica $\pm 0.05\%$ FS, 0.5 cm de agua
Máximo error: $\pm 0.1\%$ FS, 1.0 cm de agua

Resolución $< 0.02 \text{ kPa}$ (0.003 psi), 0.21 cm de agua

Temperatura

Rango de operaciones -20° a 50°C

Precisión : $\pm 0.44^{\circ}\text{C}$ from 0° a 50°C

Resolución 0.10°C at 25°C

Registrador

Reloj ± 1 minuto por mes 0° a 50°C

Vida útil de la batería 5 años guardando datos cada 1 minuto

Memoria 64K bytes memory (aprox. 21700 datos de nivel y temperatura)

Intervalo de medición Múltiples intervalos de medición

Inicio de medición Inicio instantáneo o programable para inicio posterior

7.2 Anexo II (Digital): Información fotográfica
Primera campaña de medición de caudales





Segunda campaña de medición de caudales





Tercer campaña de medición de caudales





7.3 Anexo III (Digital):